

separation processes occurring in GC cascade for the MCIM separation. Earlier we had done verification of developed mathematical model as an example silicon and germanium isotope separation. Isotope separation mode in GC cascade is preceded by its filling with process gas. So far a modeling of filling cascade was not carried out.

The results of research filling GC cascade for nickel isotope separation by feed flow input to different stages is shown in this article. According to analysis of research results nickel isotope concentrations on light and heavy fraction flows after filling cascade depend on feed stage number. The research have indicated that there is optimal feed stage number for each nickel isotope when isotope concentration in light or heavy fraction flows of cascade takes on maximal value after filling cascade with process gas. Feed stage number optimization lets to decrease duration of further nonstationary process of cascade start-up (establishment of stationary isotope concentrations).

## **СВОЙСТВА ИЗОТОПНОЙ СМЕСИ И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ В РАЗДЕЛИТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Ушаков А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Орлов А.А.<sup>2</sup>, д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод»,  
663690, г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ushakovaa2015@sibmail.com

Для использования в полной мере свойств нужного (целевого) изотопа необходимо осуществить процесс разделения изотопной смеси, состоящей из изотопов одного химического элемента. Одной из основных характеристик изотопного состава является концентрация целевого изотопа. При этом в некоторых случаях также имеет значение концентрация других изотопов смеси. Например, в международном научном проекте GERDA использовался германий, к изотопному составу которого предъявлялись следующие требования:  $^{76}\text{Ge}$  – не менее 86%,  $^{70}\text{Ge}$  – не более 0,01%. Помимо этого, особым требованиям по изотопному составу отвечал поликристаллический кремний, который использовался в международных научных проектах «Килограмм-2» и «Килограмм-3» для уточнения числа Авогадро и создания нового прототипа эталона массы (килограмма). Используемый в проекте кремний содержал изотоп Si-28 с концентрацией не менее 99,997%, а относительное содержание изотопов Si-29 к Si-30 не превышало 5. Исходя из этого, ценность получаемого в результате проведения разделительного процесса изотопно-модифицированного вещества (изотопной смеси) в достаточной мере не может быть описана только концентрацией целевого изотопа. Для смеси, состоящей из двух компонентов (изотопов), в теории и практике разделения используется понятие потенциала разделения, который в свою очередь является функцией от концентрации одного из компонентов смеси. Потенциал разделения используется для определения ценности получаемой в процессе разделения двухкомпонентной изотопной смеси косвенным путем в результате определения затрат работы разделения оборудования в единицах работы разделения. Для смеси, которая состоит из более чем двух компонентов, предложены различные формулировки и способы расчета потенциала разделения. Однако все они носят частный характер, ни один из предложенных вариантов потенциала разделения многокомпонентной изотопной смеси не является общепризнанным и не может быть использован для оценки затрат работы разделения оборудования и определения ценности получаемой многокомпонентной изотопной смеси.

В данной работе рассмотрены свойства многокомпонентной изотопной смеси, предложены оригинальные  $p$ -параметр и  $d$ -параметр, с помощью которых можно определить ее ценность, а также рассмотрено изменение свойств изотопной смеси в разделительном элементе. Показано, что для моноизотопной смеси, когда концентрация одного из изотопов близка к 100%, величины предложенных параметров близки к нулю и в процессе разделения также не происходит их изменение (эффект разделения близок к нулю). Для изотопной смеси с симметричным составом, когда имеют место равные друг относительно друга концентрации компонентов, массовые числа которых отличаются от средневзвешенное массового числа смеси на одно и то же значение по модулю,  $d$ -параметр принимает максимальное значение. При пропускании такой изотопной смеси через разделительный элемент достигается максимальное изменение концентраций компонентов смеси. Результаты исследований могут быть использованы для дальнейшего изучения закономерностей изменения состава изотопной смеси в разделительном каскаде.

## **РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ГЕРМАНИЯ В КАСКАДЕ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ**

Шинкевич Р.А., Орлов А.А.

Томский политехнический университет, 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ShinkevichRA@yandex.ru